

PAT-NO: JP411121839A

DOCUMENT-IDENTIFIER: JP 11121839 A

TITLE: OPTICAL AMPLIFICATION FIBER AND OPTICAL FIBER  
AMPLIFIER

PUBN-DATE: April 30, 1999

INVENTOR-INFORMATION:

NAME	COUNTRY
INAGAKI, SHINYA	N/A
SUKUNAMI, NOBUFUMI	N/A
TAKEDA, KEIKO	N/A
OKAMURA, KOJI	N/A

ASSIGNEE-INFORMATION:

NAME	COUNTRY
FUJITSU LTD	N/A

APPL-NO: JP09285098

APPL-DATE: October 17, 1997

INT-CL (IPC): H01S003/07, H01S003/10 , H01S003/17

ABSTRACT:

PROBLEM TO BE SOLVED: To reduce gain wavelength dependency to be small for a wide wavelength range and to enlarge an input/output dynamic range by providing a center core area where Er, Al and P are doped and a ring area which is detached in the direction of a radius and in which Er and Al are doped as a fiber.

SOLUTION: The Er doped fiber 20 is formed of the center core area 22 and the ring area 24 which is detached from the center core area 22 by a prescribed distance in the direction of the radius. Then, Ge is doped in the center core

area 22 and a refractive index is raised. The ring area 24 is contained in a clad 26. The core area 22 has Al-P co-added glass composition and the ring area 24 has the added glass composition of not less than Al concentration 3 weight percent. Such Er dope fiber is suitable for the collective amplification of wavelength division multiplex (WDM) signal light and flat gains on respective light signals can be obtained even if the power of input WDM signal light to the fiber fluctuates.

COPYRIGHT: (C)1999,JPO

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-121839

(43) 公開日 平成11年(1999) 4 月30日

(51) Int.Cl.<sup>°</sup>

識別記号

F I

H 0 1 S 3/07  
3/10  
3/17

H 0 1 S 3/07  
3/10  
3/17

Z

審査請求 未請求 請求項の数9 OL (全 8 頁)

(21) 出願番号 特願平9-285098

(22) 出願日 平成9年(1997)10月17日

(71) 出願人 000005223

富士通株式会社

神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番  
1号

(72) 発明者 稲垣 真也

神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番  
1号 富士通株式会社内

(72) 発明者 宿南 宣文

北海道札幌市中央区北一条西2丁目1番地  
富士通北海道デジタル・テクノロジー株  
式会社内

(74) 代理人 弁理士 松本 昂

最終頁に続く

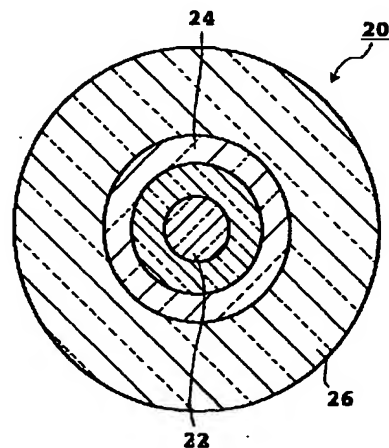
(54) 【発明の名称】 光増幅用ファイバ及び光ファイバ増幅器

(57) 【要約】

【課題】 利得波長依存性の小さい、入出力ダイナミックレンジを大きくとることのできるE rドープファイバを提供することである。

【解決手段】 光増幅用ファイバであって、エルビウムとアルミニウムとリンがドープされた中心コア領域と、エルビウムとアルミニウムがドープされた中心コア領域から半径方向に所定距離間隔したリング領域とを含んでいる。

本発明光ファイバの断面構造



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 エルビウムとアルミニウムとリンがドーパされた中心コア領域と、

エルビウムとアルミニウムがドーパされた、前記中心コア領域から半径方向に所定距離離間したリング領域と、を具備したことを特徴とする光増幅用ファイバ。

【請求項2】 前記リング領域にドーパされているアルミニウム濃度が3重量%以上であることを特徴とする請求項1記載の光増幅用ファイバ。

【請求項3】 前記光増幅用ファイバをそれぞれ0.9 8 $\mu$ m帯と1.48 $\mu$ m帯の波長を有する2つの励起光で励起した場合において、前記リング領域における波長1.55 $\mu$ mでの光損失が2.0dB $\times$ 0.8 $\times$ 15以上であることを特徴とする請求項1記載の光増幅用ファイバ。

【請求項4】 前記リング領域における波長1.55 $\mu$ mでの光損失が2.0dB $\times$ 1.05 $\times$ 15以上であることを特徴とする請求項3記載の光増幅用ファイバ。

【請求項5】 前記光増幅用ファイバをそれぞれ0.9 8 $\mu$ m帯と1.48 $\mu$ m帯の波長を有する2つの励起光で励起した場合において、前記中心コア領域における波長1.55 $\mu$ mでの光損失が1.6dB $\times$ 2.2 $\times$ 15以下であることを特徴とする請求項1記載の光増幅用ファイバ。

【請求項6】 波長分割多重信号光を増幅するのに適した光ファイバ増幅器であって、

E<sub>r</sub>とA<sub>1</sub>とPがドーパされた中心コア領域と、E<sub>r</sub>とA<sub>1</sub>がドーパされた前記中心コア領域から所定距離離間したリング領域とを有する光ファイバと；第1波長の第1励起光を出射する第1励起光源と；第2波長の第2励起光を出射する第2励起光源と；第1励起光を前記光ファイバに結合する第1合波器と；第2励起光を前記光ファイバに結合する第2合波器と；前記光ファイバから出力される増幅された信号光からモニタ光を分岐する第1カプラと；モニタ光を第1及び第2モニタ光に分岐する第2カプラと；第1モニタ光から波長 $\lambda_1$ の第1信号光を取り出す第1フィルタと；第2モニタ光から波長 $\lambda_2$ の第2信号光を取り出す第2フィルタと；第1信号光を検出する第1光検出器と；第2信号光を検出する第2光検出器と；前記第1及び第2光検出器の出力が等しく且つ所定のレベルとなるように、前記第1及び第2励起光源から出力される第1及び第2励起光のパワーレベル及びパワー比を制御する制御手段と；を具備したことを特徴とする光ファイバ増幅器。

【請求項7】 前記第1励起光源は波長0.98 $\mu$ m帯の第1励起光を出射するレーザダイオードであり、前記第2励起光源は波長1.48 $\mu$ m帯の第2励起光を出射するレーザダイオードであることを特徴とする請求項6記載の光ファイバ増幅器。

【請求項8】 前記波長分割多重信号光は波長1.54

5 $\mu$ m～1.560 $\mu$ mの光を含んでいることを特徴とする請求項7記載の光ファイバ増幅器。

【請求項9】 前記第1信号光は波長分割多重化された信号光のうち最短波長の信号光であり、前記第2信号光は波長分割多重化された信号光のうち最長波長の信号光であることを特徴とする請求項6記載の光ファイバ増幅器。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、波長分割多重(WDM)された信号光を一括して増幅するのに適した光ファイバ及び該光ファイバを用いた光ファイバ増幅器に関する。

## 【0002】

【従来の技術】近年、低損失(例えば0.2dB/km)な光ファイバの製造技術及び使用技術が確立され、光ファイバを伝送路とする光通信システムが実用化されている。また、光ファイバの損失を補償して長距離の伝送を可能にするために、光信号を増幅するための光ファイバ増幅器が実用化されている。

【0003】一方、一本の光ファイバによる伝送量を増大させるための技術として、波長分割多重(WDM)がある。WDMが適用されるシステムにおいては、互いに異なる波長を有する複数の光信号が光マルチプレクサにより波長分割多重され、その結果得られたWDM信号光が光ファイバ伝送路に送出される。受信側では、受信したWDM信号光が光デマルチプレクサによって個々の光信号に分離され、各光信号に基づいて伝送データが再生される。

【0004】従来の光増幅器の1つとして、希土類元素がドーパされた光ファイバ(ドーパファイバ)と、ドーパファイバが光信号の波長を含む利得帯域を有するようにドローファイバをポンピングするための励起光源とを備えた光ファイバ増幅器が知られている。

【0005】例えば、波長1.55 $\mu$ mの光信号を増幅するための光ファイバ増幅器として、エルビウムドーパファイバ(EDF)と波長0.98 $\mu$ m帯或いは1.48 $\mu$ m帯の励起光を出力するレーザダイオードとを備えたEDFA(エルビウムドーパファイバ増幅器)が開発されている。

【0006】WDMが適用されるシステムにEDFAを組み入れる場合、各チャネルの出力制御をし得ることが望ましい。一般的なEDFにおいてはドーパントとしてのエルビウムがコア内に均等にドーパされているので、利得特性(利得の波長依存性)は一義的に決定され、従って、各チャネルの光信号について独立に出力制御を行うことは不可能である。

【0007】このような点に鑑み、本願発明者等は、各チャネルの光信号の出力制御を行うための特定のEDFの構造及びその使用技術について、OPTICAL A

AMPLIFIERS AND THEIR APPLICATIONS (OAA) の TECHNICAL DIGEST において公開した (1996年7月)。以下、この技術をリングドープ技術と称する。

【0008】このリングドープ技術について図1及び図2により簡単に説明する。図1において、符号2はそのEDFのコア近傍の断面構成を表している。このEDF 2は、シリコン (Si) にゲルマニウム (Ge) とエルビウム (Er) がドープされた中心コア領域4と、Si にAlとErがドープされたリング領域6とを有している。リング領域6は中心コア領域4から半径方向に所定距離離間して中心コア領域4を囲むようにリング状に設けられている。

【0009】図1において、符号8及び10はそれぞれ波長0.98 $\mu$ m帯の励起光 (ポンプ光) 及び波長1.48 $\mu$ m帯の励起光をEDF内に導波させた場合におけるパワー密度の径方向の分布を表している。

【0010】波長0.98 $\mu$ m帯の励起光のモードフィールド径は符号12で示されるように比較的小さく、波長1.48 $\mu$ m帯の励起光のモードフィールド径は符号14で示されるように比較的大きい。

【0011】従って、EDF 2においては、中心コア領域4にドープされたエルビウムについては波長0.98 $\mu$ m帯の励起光による選択的なポンピングが可能であり、一方、リング領域6にドープされたエルビウムについては波長1.48 $\mu$ m帯の励起光による選択的なポンピングが可能である。

【0012】図2を参照すると、図1のEDFにおいて得られる2つの利得特性が示されている。図において、縦軸は放射の規格化値であり、横軸は波長 (nm) である。放射の波長特性はEDFの単位長さ当たりの利得 (dB/m) の波長特性、即ち利得特性に対応することが知られている。

【0013】中心コア領域4及びリング領域6のガラス組成が異なることに基づき、波長0.98 $\mu$ m帯の励起光によりEDFをポンピングした場合には、符号16で示されるように比較的急峻な利得特性が得られ、波長1.48 $\mu$ m帯の励起光によりEDFをポンピングした場合には、符号18で示されるように比較的なだらかな利得特性が得られる。

【0014】従って、このようなEDF及び少なくとも2つの励起光源を用いて光ファイバ増幅器を構成し、この光ファイバ増幅器をWDMシステムに適用した場合に、各チャネルの光信号について出力パワーの独立した制御が可能になる。

【0015】また、Al添加EDFとP/Al共添加EDFを適宜組み合わせることで利得を平坦化したハイブリッドEDFが信学技法 CS96-39, OCS96-16 (1996-06) で報告されている。以下、この文献に記載された技術をリン (P) ドープ技術と称すること

にする。

【0016】EDFにリン (P) をドープすることにより、EDFの利得波長依存性が波長1.545 $\mu$ m～1.560 $\mu$ mの範囲内で連続的に減少するような特性が得られることが報告されている。このリンドープ技術によれば、波長1.545 $\mu$ m～1.560 $\mu$ mの範囲内で平坦な利得波長特性が得られる。

【0017】

【発明が解決しようとする課題】上述したリングドープ技術によれば、波長分割多重化された各チャネルの光信号について出力パワーの独立した制御が可能であると共に、入出力ダイナミックレンジを5dBに渡って確保することができる。

【0018】しかし、このリングドープ技術によると、図2に示すように波長1.552 $\mu$ mに利得のピークができ、波長1.545 $\mu$ m～1.560 $\mu$ mの範囲内で平坦な利得が得られないという問題がある。

【0019】一方、上述したリンドープ技術によれば、ある入出力条件で波長1.545 $\mu$ m～1.560 $\mu$ mの範囲内で平坦な利得波長特性を得ることができる。しかし、EDFへの入力信号光パワーが変動すると、上述した波長の範囲内で平坦な利得が得られなくなる。

【0020】よって、本発明の目的は、広い波長範囲に渡り利得を平坦化することが可能な光増幅用ファイバを提供することである。本発明の他の目的は、WDM光伝送システムに適用するのに適した光ファイバ増幅器を提供することである。

【0021】

【課題を解決するための手段】本発明によると、エルビウムとアルミニウムとリンがドープされた中心コア領域と、エルビウムとアルミニウムがドープされた、前記中心コア領域から半径方向に所定距離離間したリング領域とを具備したことを特徴とする光増幅用ファイバが提供される。

【0022】好ましくは、光増幅用ファイバをそれぞれ0.98 $\mu$ m帯と1.48 $\mu$ m帯の波長を有する2つの励起光で励起した場合において、リング領域における波長1.55 $\mu$ mでの光損失が2.0dB×0.8×15以上である。更に好ましくは、中心コア領域における波長1.55 $\mu$ mでの光損失が1.6dB×2.2×15以下である。

【0023】本発明の他の側面によると、波長分割多重信号光を増幅するのに適した光ファイバ増幅器であって、ErとAlとPがドープされた中心コア領域と、ErとAlがドープされた前記中心コア領域から所定距離離間したリング領域とを有する光ファイバと、第1波長の第1励起光を出射する第1励起光源と、第2波長の第2励起光を出射する第2励起光源と、第1励起光を前記光ファイバに結合する第1合波器と、第2励起光を前記光ファイバに結合する第2合波器と、前記光ファイバか

ら出力される増幅された信号光からモニタ光を分岐する第1カプラと、モニタ光を第1及び第2モニタ光に分岐する第2カプラと、第1モニタ光から波長 $\lambda_1$ の第1信号光を取り出す第1フィルタと、第2モニタ光から波長 $\lambda_2$ の第2信号光を取り出す第2フィルタと、第1信号光を検出する第1光検出器と、第2信号光を検出する第2光検出器と、前記第1及び第2光検出器の出力が等しく且つ所定のレベルとなるように前記第1及び第2励起光源から出力される第1及び第2励起光のパワーレベル及びパワー比を制御する制御手段とを具備したことを特徴とする光ファイバ増幅器が提供される。

【0024】本発明によると、波長 $1.545\mu\text{m}$ ～ $1.560\mu\text{m}$ の広い波長範囲に渡り利得波長依存性の小さい、入出力ダイナミックレンジの大きい光ファイバ増幅器を提供することができる。よって、本発明の光ファイバ増幅器は、入力パワー変動を有する光分割多重信号光を一括増幅するのに適している。

【0025】

【発明の実施の形態】図3は本発明光ファイバの断面構造を示している。光ファイバ20は図1に示したリングドープ構造と類似したErドープファイバ(EDF)である。即ち、中心コア領域22と、中心コア領域22から半径方向に所定距離離間したリング領域24にエルビウム(Er)がドープされている。

【0026】中心コア領域22にはさらにゲルマニウム(Ge)がドープされていて、その屈折率が上昇されている。リング領域24はクラッド26中に含まれている。更に、中心コア領域22とリング領域24のガラス材料の選択及びEr濃度の比をシミュレーションにより最適化した。

【0027】それぞれの領域22、24でのガラス材料は異なった材料とし、以下の候補A及び候補Bのいずれを採用するかを後に示す数値計算により決定した。

候補A      中心コア領域：A1添加ガラス  
                  リング領域：A1-P共添加ガラス  
 候補B      中心コア領域：A1-P共添加ガラス  
                  リング領域：A1添加ガラス

Er濃度はEr吸収損失に比例するため、中心コア領域22及びリング領域24でのEr濃度は、図4に示す損失で計算に折り込んだ。図4で実線はA1-P共添加ガラスの光損失を示しており、破線はA1添加ガラスの光損失を示している。

【0028】A1濃度及びP濃度は2重量%でそれぞれ一定とし、更にファイバ長は15mで一定として、中心コア領域22及びリング領域24での吸収損失比をそれぞれ0.3～2.4まで変化させ利得を計算し、その結果を図5～図7に示した。

【0029】図5は候補Aの入力ダイナミックレンジを示しており、図6は候補Bの入力ダイナミックレンジを示している。図7は候補Bの励起光から信号光への変換

効率を示している。

【0030】これらの図において、横軸は中心コア領域22の単位長さ当たりの光損失比であり、縦軸はリング領域24の単位長さ当たりの光損失比である。1.0のときのEr濃度が500ppmである。

【0031】光ファイバ20のその他の構造パラメータは以下の通りである。

モードフィールド径( $0.98\mu\text{m}$ )/( $1.48\mu\text{m}$ ): $3\mu\text{m}/4.6\mu\text{m}$

中心コア領域22の直径: $1.2\mu\text{m}$

リング領域24の内外径: $3\mu\text{m}/4.2\mu\text{m}$

計算は候補A及び候補BのEDFに、 $0.98\mu\text{m}$ と $1.48\mu\text{m}$ の励起光をハイブリッド入射し、信号光は $1545\text{nm}$ 、 $1549.5\text{nm}$ 、 $1554\text{nm}$ 、 $1558\text{nm}$ の四波入射とした(信号光の基準入射パワー: $-15\text{dBm}/\text{ch}$ )。

【0032】本発明の場合、以下の2つがEDFの善し悪しを判断する基準になると考えられる。

(1) $0.98\mu\text{m}$ と $1.48\mu\text{m}$ の励起光パワーの比を変えながら励起光をEDFにハイブリッド入射した場合、各信号光の出力フラットを維持しながら出力がどれだけ変化するか。即ち、最大入力パワー(dBm)－最小入力パワー(dBm)＝入力ダイナミックレンジ(dB)

(2)最大入射励起光パワーに対する信号光出力パワー＝変換効率(dB)( $10 \times \log(\text{信号光総出力パワー}) / (\text{最大入力励起光パワー})$ )

図5から、候補Aでは、入力ダイナミックレンジが高々4dB程度しかとれない。しかし、図6から明らかなように、候補Bでは光損失の比を適当に選ぶことにより、10dB以上の入力ダイナミックレンジをとることができる。

【0033】よって、入力ダイナミックレンジの関係から、本発明のガラス材料組成としては候補Bが適当である。即ち、中心コア領域22はA1-P共添加ガラスであり、リング領域24はA1添加ガラスの組成が望ましい。

【0034】候補Bにおいて、中心コア領域22の光損失及びリング領域24の光損失の比を共に0.9と2.1に設定したときの利得波長特性を図8に示す。光損失の比が0.9のときに利得小であり、2.1のときに利得大である。各信号光波長に対する出力偏差は0.5dB程度と非常に小さいことがわかる。

【0035】次に候補BのEDFについて、その全長(15m)での光損失を規定する。

(A)まず、望ましい入力ダイナミックレンジは4dB以上とし、その条件を計算する。

【0036】図6より入力ダイナミックレンジを4dB以上とするためには、リング領域24での基準長さ(15m)との光損失比は0.8以上必要である。よって、

EDF全長(15m)では、リング領域24の吸収損失が図4のグラフの波長特性 $\times 0.8 \times 15 \text{ dB}$ 以上となる。例えば、リング領域24における波長 $1.55 \mu\text{m}$ での光損失は $2.0 \text{ dB} \times 0.8 \times 15$ 以上である。

【0037】(B)望ましい変換効率は10%以上とする。図7において、10%以上の変換効率を得るためにはリング領域24での基準長さ(15m)との光損失比は1.05以上必要である。よって、EDF全長では、リング領域24の吸収損失が図4のグラフの波長特性 $\times 1.05 \times 15 \text{ dB}$ 以上となる。例えば、リング領域24において波長 $1.55 \mu\text{m}$ での光損失が $2.0 \text{ dB} \times 1.05 \times 15$ 以上である。

【0038】(C)最大所要励起光パワーを600mW以下とする。最大所要励起光パワーを600mW以下とするためには、図9より中心コア領域22での基準長さ(15m)との損失比は2.2以下となる。よって、EDF全長では、中心コア領域22の吸収は図4のグラフの波長特性 $\times 2.2 \times 15 \text{ dB}$ 以下である。例えば、中心コア領域22における波長 $1.55 \mu\text{m}$ での光損失は $1.6 \times 2.2 \times 15 \text{ dB}$ 以下である。

【0039】図10を参照すると、リング領域24に添加したA1濃度と放射断面積半値幅との関係が示されている。放射断面積半値幅は44nm以上あることが望ましいので、リング領域24に添加されているA1濃度は3重量%以上であることが望ましい。

【0040】図11を参照すると、本発明のEDF30を使用した光ファイバ増幅器の実施形態が示されている。第1励起光源32はレーザダイオードであり、波長 $1.48 \mu\text{m}$ 帯の励起光を出力する。第2励起光源36もレーザダイオードであり、波長 $1.48 \mu\text{m}$ 帯の励起光を出力する。

【0041】EDF30の第1端30A及び第1励起光源32はWDMカプラ34に接続され、これにより、第1励起光源32から出力された第1励起光はWDMカプラ34を通過して第1端30AからEDF30に供給される。

【0042】EDF30の第2端30B及び第2励起光源36はWDMカプラ38に接続されており、これにより、第2励起光源36から出力された第2励起光はWDMカプラ38を通過して第2端30BからEDF30へ供給される。

【0043】WDMカプラ34にはまた入力側の光アイソレータ40が接続されており、WDMカプラ38には出力側の光アイソレータ42が接続されている。波長 $\lambda_1 \sim \lambda_4$ の光信号を波長分割多重してなるWDM信号光が光アイソレータ40及びWDMカプラ34を通過してEDF30に供給される。

【0044】第1及び第2励起光によってポンピングされているEDF30にWDM信号光が供給されると、WDM信号光はEDF30内において増幅され、増幅され

たWDM信号光はWDMカプラ38及び光アイソレータ42をこの順に通過して光ファイバ増幅器から出力される。

【0045】出力側の光アイソレータ42を通過した増幅されたWDM信号光の一部は、光カプラ44によって抽出される。抽出された光はもう1つの光カプラ46によって第1及び第2のモニタ光に分岐される。

【0046】第1モニタ光は光帯域通過フィルタ48を通過した後フォトディテクタ50によって電気信号に変換され、第2モニタ光は光帯域通過フィルタ52を通過した後フォトディテクタ54によって電気信号に変換される。フィルタ48は波長 $\lambda_1$ を含む通過帯域を有しており、フィルタ52は波長 $\lambda_4$ を含む通過帯域を有している。

【0047】フォトディテクタ50及び54の出力電気信号はパワーモニタ56に供給される。フォトディテクタ50及び54の出力電気信号のレベルは、それぞれ、この光ファイバ増幅器において増幅された波長 $\lambda_1$ 及び $\lambda_4$ の光信号のパワーに対応している。制御回路58はパワーモニタ56の出力信号に基づいて、第1励起光源32の駆動電流と第2励起光源36の駆動電流を制御する。

【0048】具体的には、第1励起光源32から出力される第1励起光のパワーと第2励起光源36から出力される第2励起光のパワーのレベル及びパワーの比が制御回路58によって制御され、それにより、光ファイバ増幅器により増幅された波長 $\lambda_1$ の光信号のパワーと波長 $\lambda_4$ の光信号のパワーとは実質的に等しくなる。ここで、 $\lambda_1$ は $1545 \text{ nm}$ 、 $\lambda_4$ は $1558 \text{ nm}$ である。

【0049】このように4チャネルの光信号のWDM伝送の場合には、最小波長と最大波長の光信号のレベルを実質的に等しく制御することにより、4チャネルの光信号のレベルを実質的に等しく制御することができる。

【0050】上述したErドープファイバ20の説明では、リング領域24はクラッド26中に存在するとしたが、リング領域24にGeをドープしてリング領域24をコア中に設けるようにしてもよい。

【0051】

【発明の効果】本発明によると、利得波長依存性の小さい、入出力ダイナミックレンジを大きくとることのできるErドープファイバを実現することができる。よって、本発明のErドープファイバはWDM信号光の一括増幅に適している。更に、Erドープファイバへの入力WDM信号光のパワーが変動しても、各光信号についての平坦な利得を得ることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】従来のErドープファイバの断面構成及び励起光のモードフィールドを示す図である。

【図2】図1の従来技術により得られる2つの利得特性を示す図である。

10

20

30

40

50

【図3】本発明の光ファイバの断面構造を示す図である。

【図4】A1添加ガラス及びA1-P共添加ガラス内でのErの吸収の波長依存性を示す図である。

【図5】候補Aの入力ダイナミックレンジを示す図である。

【図6】候補Bの入力ダイナミックレンジを示す図である。

【図7】候補Bの変換効率を示す図である。

【図8】利得波長特性を示す図である。

【図9】最大励起光パワーを示す図である。

【図10】A1濃度と放射断面積半値幅との関係を示す図である。

【図11】光ファイバ増幅器の実施形態を示すブロック

図である。

【符号の説明】

20 Erドープファイバ(EDF)

22 中心コア領域

24 リング領域

26 クラッド

30 Erドープファイバ(EDF)

32, 36 励起光源

34, 38 WDMカプラ

10 48, 52 光帯域通過フィルタ

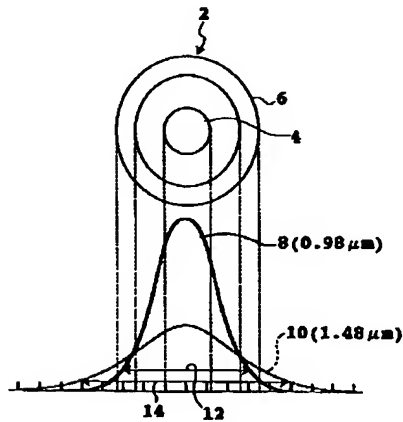
50, 54 フォトディテクタ

56 パワーモニタ

58 制御回路

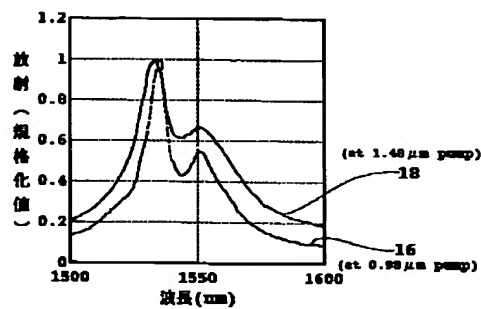
【図1】

従来のドープファイバの断面構成  
及びポンプ光のモードフィールドを示す図



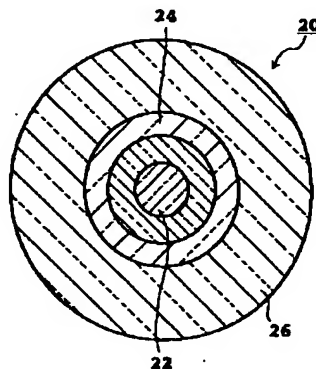
【図2】

図1の従来技術により得られる  
2つの利得特性を示す図



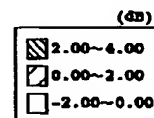
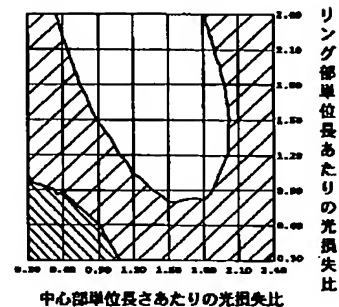
【図3】

本発明光ファイバの断面構造



【図5】

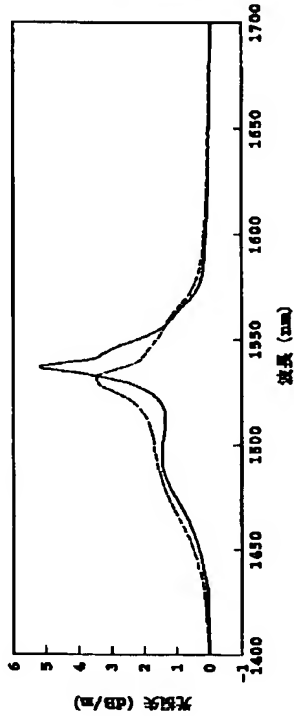
候補Aの入力ダイナミックレンジ





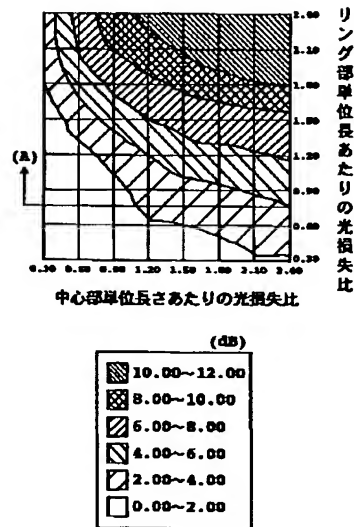
【図4】

A1添加ガラス及びA1-p共添加ガラス内での  
Erの吸収の波長依存性



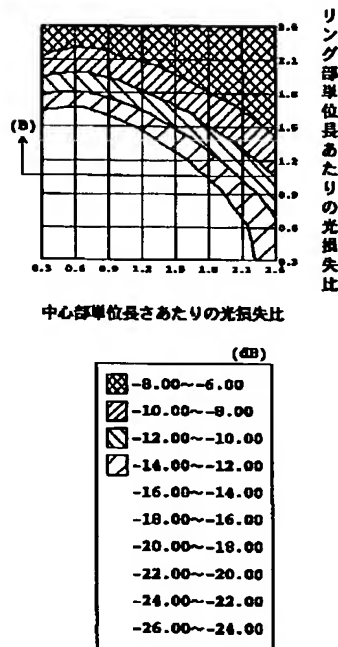
【図6】

候補Bの入力ダイナミックレンジ



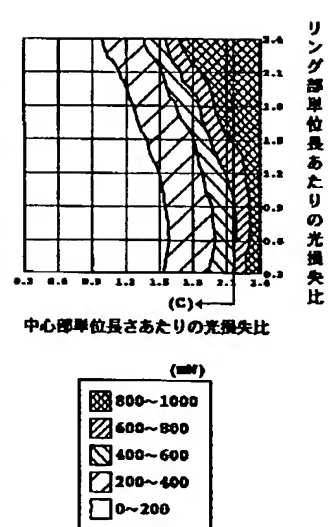
【図7】

候補Bの変換効率



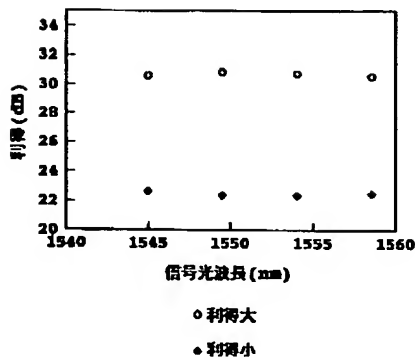
【図9】

最大励起光パワー



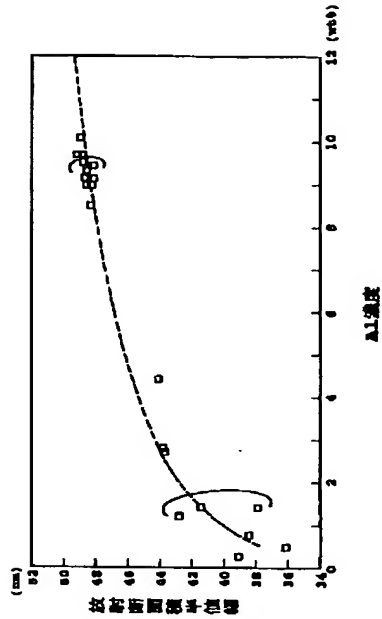
【図8】

利得波長特性



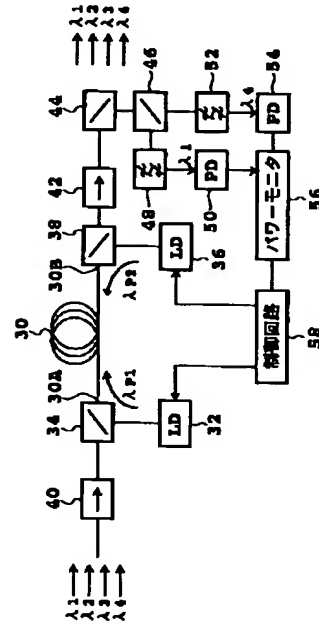
【図10】

A1濃度と断面積半値幅との関係



【図11】

光ファイバ増幅器の実施形態を示すブロック図



フロントページの続き

(72)発明者 武田 恵子  
 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番  
 1号 富士通株式会社内

(72)発明者 岡村 浩司  
 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番  
 1号 富士通株式会社内